

Der hydraulisch-morphologische Index der Diversität: ein Indikator für die ökologische Funktionsfähigkeit von Fließgewässern

Walter Gostner, Anton Schleiss

Zusammenfassung

Es ist unbestritten, dass die Biodiversität und ökologische Funktionsfähigkeit eines Fließgewässers in direktem Zusammenhang mit dessen hydraulischen und morphologischen Parametern und deren Ausprägung steht. Wasserrahmenrichtlinien, Hochwasserschutz und vermehrte Bemühungen in der Flussrevitalisierung erfordern interdisziplinäre Forschung, um das Zusammenspiel abiotischer und biotischer Faktoren von Fließgewässern besser erfassen zu können. Vorliegender Artikel enthält den anhand von Fallstudien ausgearbeiteten Vorschlag für einen hydraulisch-morphologischen Index der Diversität (HMID), welcher bei flussbaulichen Maßnahmen als Indikator für deren Wirksamkeit in Bezug auf die Verbesserung der Fließgewässerökologie herangezogen werden kann.

1 Einführung

Die Veränderung und Homogenisierung von physikalischen Habitaten ist die schwerwiegendste Beeinträchtigung der Biodiversität und ökologischen Funktionsfähigkeit und führt zur Verarmung der Biodiversität [01]. Die morphologischen und abflussdynamischen Prozesse eines Fließgewässersystems bestimmen nämlich wesentlich das Habitatangebot und die Qualität des Lebensraumes für die aquatischen und semiaquatischen Lebewesen. Artenzusammensetzung und –diversität, Abundanz und Populationsstruktur hängen maßgeblich von diesen beiden Faktoren ab [02].

Die Kenntnis des Zusammenhangs zwischen abiotischen und biotischen Faktoren ist deshalb unabdingbare Voraussetzung dafür, dass die Wiederherstellung der morphologischen Vielfalt in einem Fließgewässer nicht zum Selbstzweck und zur Landschaftskosmetik verkommt.

Die einschlägige Forschung hat sich bisher eher auf den Zusammenhang zwischen einzelnen Parametern denn auf einen ganzheitlichen Ansatz konzentriert. In der Habitatmodellierung zum Beispiel werden Präferenzkurven verwendet, welche bevorzugte Lebensbereiche in Bezug auf Fließtiefe, Fließgeschwindigkeit und Substrateigenschaften für einzelne aquatische Organismen (Fische oder Invertebraten) aufzeigen [03, 04, 05]. In anderen Untersuchungen wiederum ist der Zusammenhang zwischen der Varianz der maximalen Fließtiefe und Diversität der Fischarten [06], zwischen dem Totholzvorkommen und der Fischanzahl [07] oder dem Verhältnis der Gesamtlänge der Flusssufer zur Tallänge und der Abundanz und Diversität von juvenilen Fischen [08] hergestellt worden.

In anderen Ansätzen werden verschiedene Aspekte (z.B. Makrozoobenthos, Fische, Periphyton oder Habitate) von Fließgewässern mithilfe modularer Bewertungsmethoden beurteilt. Daraus resultieren meist multimetrische Indizes oder verbale Klassifizierungen, welche in den Richtlinien vieler europäischer Länder Niederschlag gefunden haben [09, 10, 11].

In einem interdisziplinären Forschungsprojekt wird derzeit eine Alternative zu den bisher gängigen Bewertungsmethoden entwickelt. Durch den Vergleich von Fließgewässerabschnitten mit unterschiedlichem Verbauungsgrad versucht man, eine Funktion zu erarbeiten, welche den Zusammenhang zwischen physikalischen Parametern und Biodiversität auf quantitative Weise auszudrücken vermag. Das Endziel ist es, die maßgebenden hydraulischen und morphologischen Faktoren und deren Ausprägung in einem hydraulisch-morphologischen Index der Diversität (HMID) zusammenzufassen, welcher somit ein Maß für die ökologische Funktionsfähigkeit eines Fließgewässers darstellen kann.

Das Endziel des Projektes ist es, dem Wasserbauer ein Instrument zur Verfügung zu stellen, welches es ihm erlaubt, bei Projekten zum Hochwasserschutz oder anderen flussbaulichen Vorhaben die zur Diskussion stehenden Projektvarianten auch im Hinblick auf ihre Wirksamkeit hinsichtlich der Verbesserung der Fließgewässerökologie bewerten zu können.

Während der Jahre 2008-2010 wurden an drei Fließgewässern in der Schweiz Felderhebungen durchgeführt, und zwar an der Bünz (Kanton Aargau), an der Venoge (Kanton Waadt) und an der Sense (Kantone Bern und Freiburg).

Vorliegender Artikel stellt Ergebnisse dieser Felderhebungen und den daraus entwickelten Vorschlag für den HMID vor.

2 Untersuchte Fließgewässerabschnitte

Die Bünz liegt im Kanton Aargau, hat ein Einzugsgebiet von 111 km² und mündet bei Wildegg in den Aabach. Die Venoge hingegen weist eine Einzugsgebietsgröße von 238 km² auf und mündet in den Genfer See. Die Sense wiederum entwässert ein Einzugsgebiet mit einer Fläche von 432 km², sie mündet bei Laupen (Kanton Bern) in die Saane.

Die untersuchten Fließgewässer weisen pluviales bzw. nivo-pluviales Abflussregime auf, wobei sich das hydrologische Regime weitgehend in seinem natürlichen Zustand befindet. Es gibt nämlich keine größeren Wasserableitungen für Bewässerung oder Stromerzeugung, auch sind keine größeren Staustufen vorhanden.

Tabelle 1 Überblick Untersuchungsabschnitte an der Bünz mit Länge der untersuchten Abschnitte, Anzahl der aufgenommenen Querprofile, durchschnittlichem Abstand untereinander, Gesamtanzahl der erhobenen Messpunkte, dem am Tag der Messung vorhandenen Abfluss und der dazugehörenden Abflusssspende

Abschnitt		(1) pendelnd	(2) natürlich	(3) kanalisiert	(4) revitalisiert
Länge	[m]	150	115	55	140
Querprofile		15	12	7	10
Abstand QP	[m]	10,7	10,4	9,2	15,6
Punkte		436	209	66	177
Abfluss Q	[m ³ /s]	0,98	0,84	0,84	0,68
Spende q	[l/s, km ²]	7,5	7,5	7,5	7,5

Tabelle 2 Überblick Untersuchungsabschnitte an der Venoge

Abschnitt		(1) gestreckt	(2) kanalisiert	(3) kanalisiert	(4) maänd- rierend
Länge	[m]	60	40	80	120
Querprofile		12	8	8	12
Abstand QP	[m]	5,0	5,0	10	10
Punkte		112	152	113	167
Abfluss Q	[m³/s]	0,69	2,41	2,69	3,99
Spende q	[l/s,km²]	19,0	19,0	19,0	19,0

Tabelle 3 Überblick Untersuchungsabschnitte an der Sense

Abschnitt		(1) verzweigt	(2) pendelnd	(3) verzweigt	(4) teilverbaut	(5) kanalisiert
Länge	[m]	1850	770	620	685	940
Querprofile		19	17	19	14	14
Abstand QP	[m]	100	48	10,4	53	72
Punkte		310	202	249	135	216
Abfluss Q	[m³/s]	2,30	2,93	6,18	5,65	5,81
Spende q	[l/s,km²]	19,5	19,5	35,3	17,6	16,3

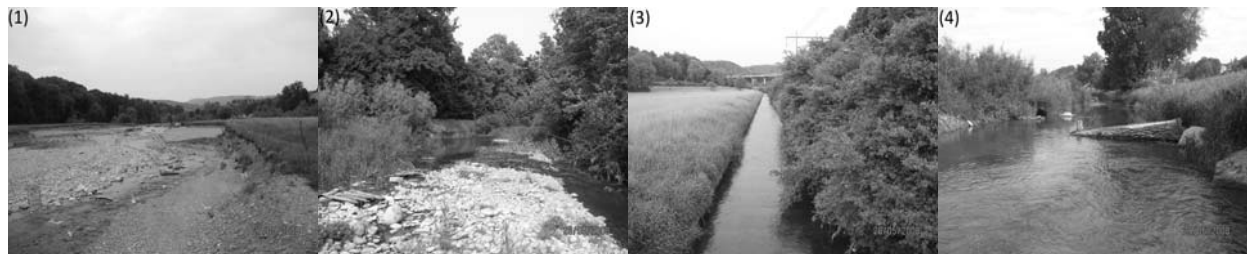
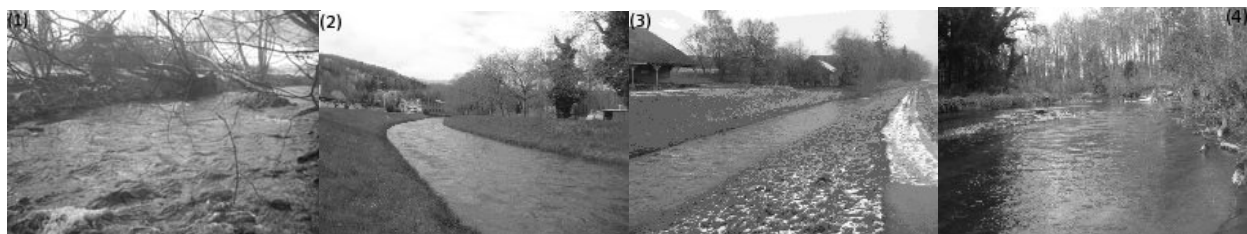
**Abb. 1** Untersuchungsabschnitte Bünz: (1) durch Jahrhunderthochwasser 1999 geformtes pendelndes System („Bünzaue“), (2) naturbelassen, (3) kanalisiert, (4) revitalisiert**Abb. 2** Untersuchungsabschnitte Venoge: (1) naturbelassen geradlinig, (2) kanalisiert, (3) kanalisiert, (4) naturbelassen mäandrierend

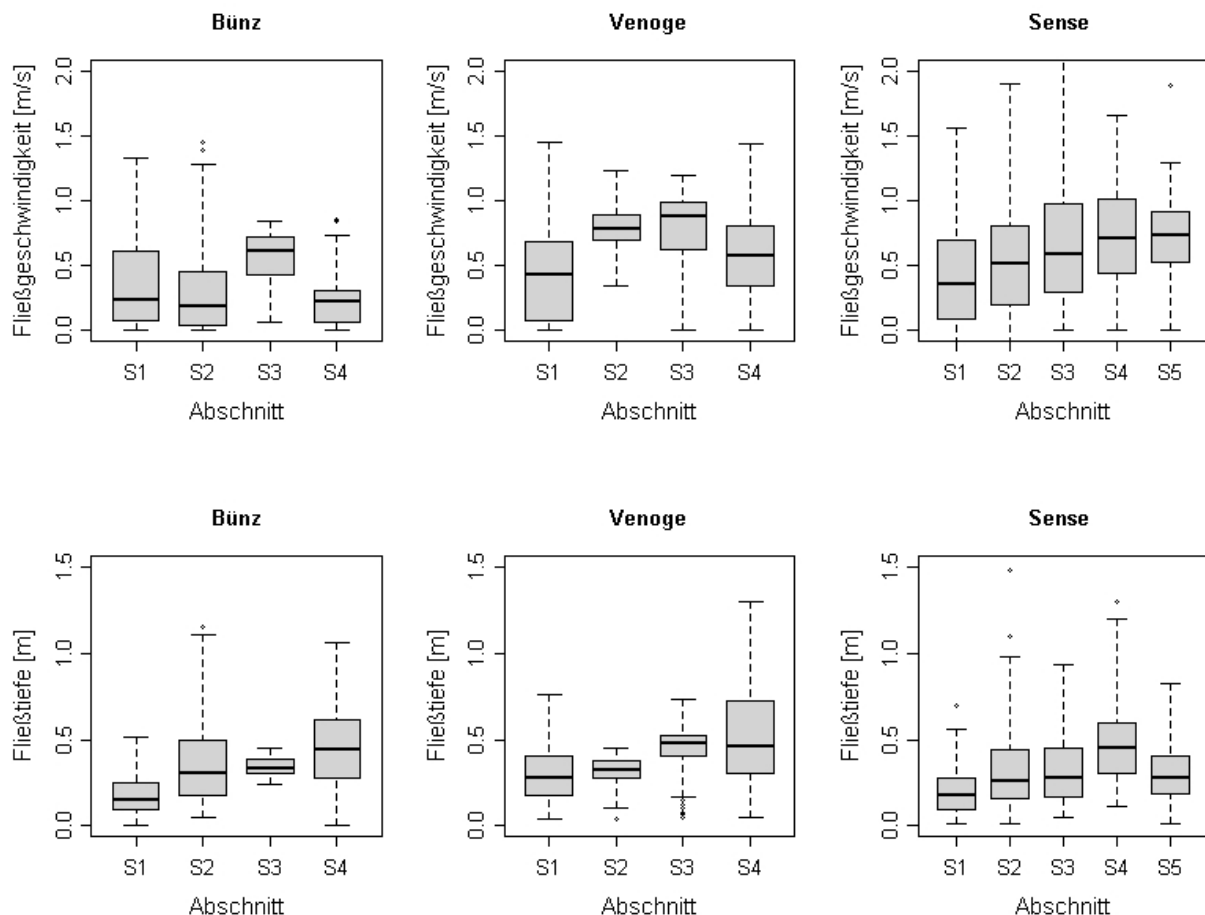


Abb. 3 Untersuchungsabschnitte Sense: (1) naturbelassen verzweigt, (2) naturbelassen in einer Schlucht pendelnd, (3) naturbelassen verzweigt, (4) rechtsufrig verbaut, linksufrig naturbelassen, (5) kanalisiert

An allen drei untersuchten Fließgewässern sind Abschnitte verschiedener morphologischer Charakteristik vorhanden. Diese reicht von vollständig naturbelassen über teilweise bis hin zu komplett verbaut, auch sind revitalisierte Abschnitte vorhanden. Aus diesem Grund ist anzunehmen, dass sich durch den Vergleich der verschiedenen Abschnitte ein Zusammenhang zwischen den hydraulisch-morphologischen Parametern und der Biodiversität herstellen lässt.

In Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3 sind die wichtigsten Kenndaten der untersuchten Abschnitte aufgelistet, während Abbildung 1, Abbildung 2 und Abbildung 3 Bilder davon zeigen. An jedem der untersuchten Abschnitte wurden Querprofile definiert, entlang welcher jeweils an den selben Punkten die topographische Lage, die Sohlhöhe, die Wassertiefe und die Fließgeschwindigkeit aufgenommen wurden.

3 Auswertung und Vergleich der erhobenen Parameter



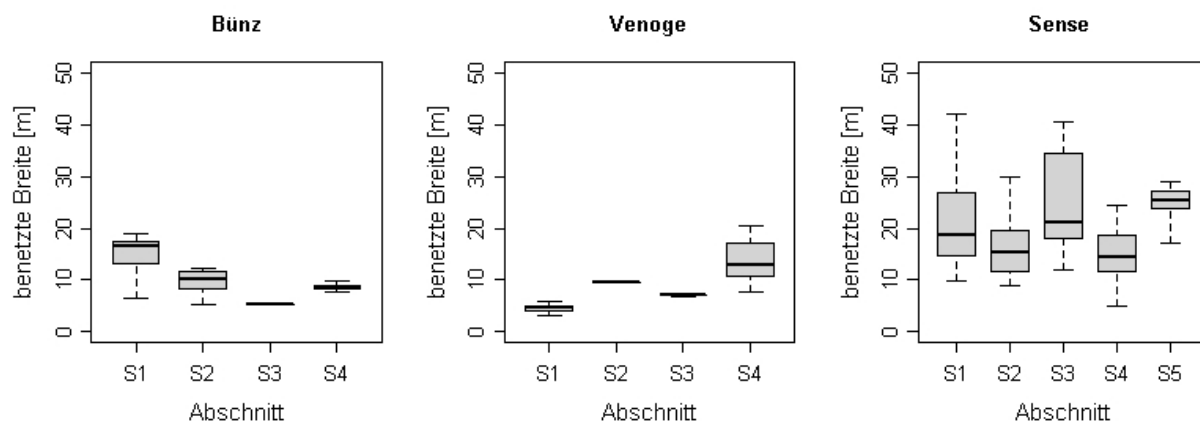


Abb. 4 Boxplots der hydraulischen Parameter Fließgeschwindigkeit, Fließtiefe und benetzte Breite für die an Bünz, Venoge und Sense untersuchten Abschnitte

Abbildung 4 zeigt die Verteilung der hydraulischen Größen Fließgeschwindigkeit, Fließtiefe und benetzte Breite an den Untersuchungsabschnitten, Tabelle 4 listet jeweils die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardabweichungen auf.

In kanalisiert Abschnitten (S3 an der Bünz, S2 und S3 an der Venoge, S5 an der Sense) ist die Standardabweichung und somit auch Diversität der Parameter gering. Besonders evident ist dies bei der benetzten Breite, aber auch bei Fließtiefe und -geschwindigkeit bleibt die Streuung auf einen engen Bereich beschränkt. Auch ist in diesen Abschnitten eine hohe durchschnittliche Fließgeschwindigkeit zu beobachten, Stillwasserzonen sind kaum vorhanden.

An den naturbelassenen Abschnitten hingegen lässt sich eine größere Variabilität der Messgrößen feststellen. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass die Diversität der abiotischen Umwelt an den natürlichen Abschnitten (S1 und S2 an der Bünz, S1 und S4 an der Venoge, S1 bis S3 an der Sense) deutlich höher ist als an kanalisierten Strecken (S3 an der Bünz, S2 und S3 an der Venoge) oder auch am revitalisierten Abschnitt S4 der Bünz. Man erwartet sich dementsprechend an den natürlichen Abschnitten auch eine höhere Diversität und Abundanz an aquatischen Organismen.

Tabelle 4 Mittelwerte und Standardabweichung der hydraulischen Parameter Fließgeschwindigkeit v , Fließtiefe t und benetzte Breite b

	Abschnitt		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Bünz	v	[m/s]	0,367±0,342	0,318±0,351	0,561±0,209	0,224±0,182	
	t	[m]	0,179±0,113	0,375±0,258	0,341±0,056	0,456±0,223	
	b	[m]	15,137±3,513	9,694±2,191	5,173±0,026	8,672±0,731	
Venoge	v	[m/s]	0,454±0,390	0,793±0,164	0,766±0,313	0,570±0,335	
	t	[m]	0,298±0,164	0,315±0,077	0,439±0,144	0,491±0,262	
	b	[m]	4,592±0,869	9,600±0,120	7,013±0,083	13,533±3,945	
Sense	v	[m/s]	0,444±0,410	0,565±0,449	0,647±0,443	0,717±0,416	0,713±0,294
	t	[m]	0,201±0,163	0,322±0,223	0,314±0,184	0,461±0,219	0,305±0,150
	b	[m]	21,791±8,724	16,299±5,891	24,769±9,630	15,593±5,744	24,880±3,075

4 Formulierung des hydraulisch-morphologischen Indexes der Diversität

Die Standardabweichung σ ist ein statistisches Maß für die Diversität eines Parameters, wobei deren Gewichtung eng mit dem Mittelwert μ zusammenhängt. Dieser Umstand kann am besten mit dem Variationskoeffizienten $\frac{\sigma}{\mu}$ ausgedrückt werden. Daraus lässt sich in weiterer Folge ein Indikator für die physikalische Vielfalt an einem Fließgewässer errechnen [12]. Die Teilvielfältigkeit für einen einzelnen Parameter wird folgendermaßen ausgedrückt:

$$V(i) = 1 + \frac{\sigma_i^2}{\mu_i^2}$$

Der hydraulisch-morphologische Index der Diversität (HMID) für einen Abschnitt wiederum wird aus dem Produkt der Teilvielfältigkeitsindizes berechnet:

$$HMID_{\text{Abschnitt}} = \prod_i V(i)$$

Kombiniert man die gemessenen hydraulischen Parameter Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit und benetzte Breite, welche ja aufgrund der Kontinuitätsgleichung jene Größen sind, die durch den Abfluss bedingt sind, erhält man die in Tabelle 5 angegebenen Werte für den HMID. Bei jedem der untersuchten Fließgewässer weisen die kanalisierten Abschnitte (S3 bei der Bünz, S2 und S3 bei der Venoge, S5 bei der Sense) den niedersten HMID auf. Es folgen Abschnitte, die teilweise kanalisiert (S4 bei der Sense) bzw. bis zu einem gewissen Grad revitalisiert sind (S4 bei der Bünz). Den höchsten HMID weisen naturbelassene Abschnitte (S2 bei der Bünz, S1 bei der Venoge, S1 bis S3 bei der Sense) auf. Diese Feststellungen lassen den erfreulichen Schluss zu, dass die Formulierung eines globalen Diversitätsindex ein zielführender Vorschlag zur Charakterisierung der hydraulisch-morphologischen Vielfalt eines Fließgewässers zu sein scheint.

Tabelle 5 Errechnete Werte für den HMID

Abschnitt	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Bünz	2,752	3,435	1,169	2,004	
Venoge	2,296	1,105	1,292	1,875	
Sense	3,558	2,729	2,270	1,859	1,474

5 Vergleich mit einer visuellen Bewertungsmethode

Um die Zuverlässigkeit des vorgeschlagenen Indexes weiter überprüfen zu können, ist den errechneten Werten für den HMID eine multimetrische Methode gemäß den Bewertungsprotokollen der USEPA [13] gegenübergestellt worden. Bei diesem Verfahren wird für 10 Kriterien eine visuelle Bewertung abgegeben und auf einer Skala von 1 – 20 ein Wert zugewiesen. Durch Summieren der einzelnen Werte ergibt sich eine Gesamtpunkteanzahl für jeden bewerteten Abschnitt, wobei maximal 200 Punkte erreicht werden können. Die berücksichtigten Kriterien betreffen dabei den allgemeinen morphologischen Zustand des Abschnittes sowie die Situation an der Fließgewässersohle und an den Ufern.

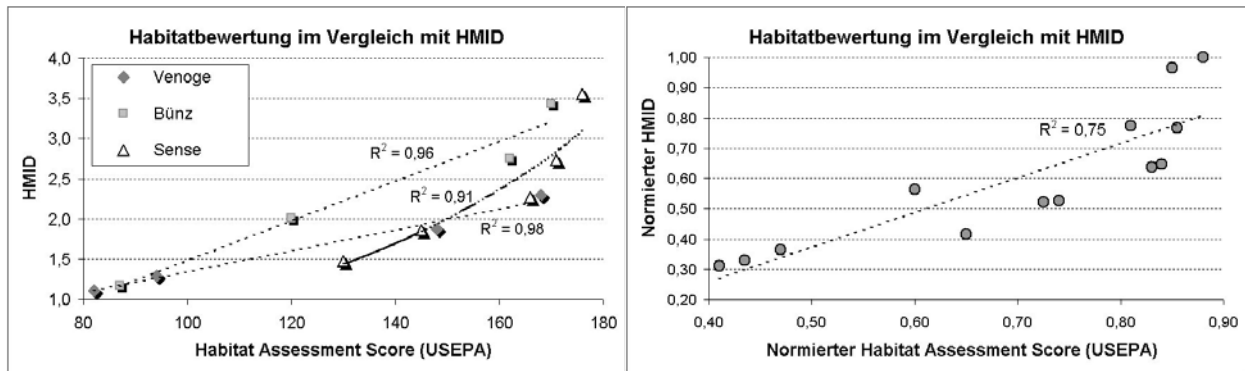


Abb. 5 Gegenüberstellung des HMID mit einem multimetrischen Habitatsindex

Aus Abbildung 5 (links) ist ersichtlich, dass sich für die einzelnen untersuchten Fließgewässer durchwegs eine gute Korrelation zwischen dem visuell festgelegten Habitatsindex und dem auf mathematisch-statistischem Wege errechneten HMID ergibt. Selbst wenn man die an den einzelnen Untersuchungsabschnitten aller drei Fließgewässer ermittelten Werte normiert, ergibt sich immer noch eine gute Übereinstimmung zwischen den beiden Methoden (Abbildung 5, rechts).

6 Gegenüberstellung mit biotischen Indikatoren

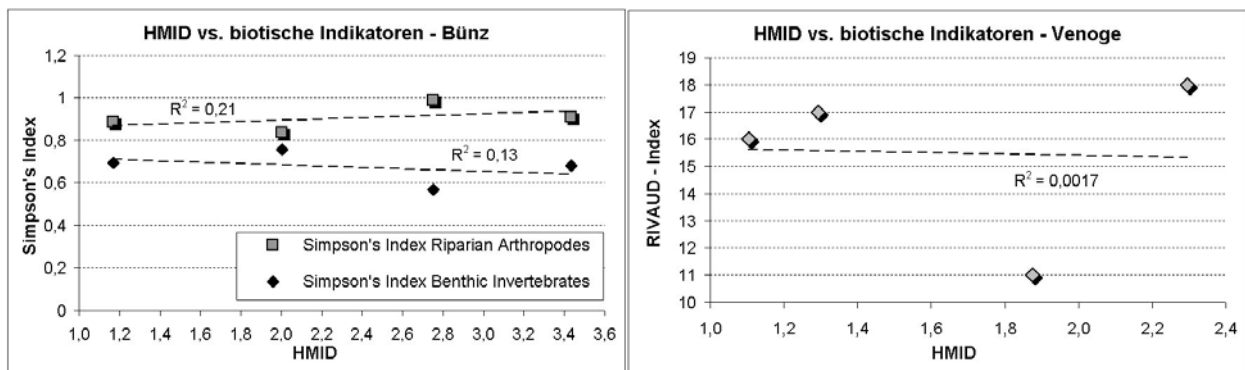


Abb. 6 Gegenüberstellung des HMID mit biotischen Indikatoren (Makroinvertebraten)

An der Bünz und an der Venoge war es möglich, die hydraulisch-morphologische Diversität mit Daten zur Biodiversität zu vergleichen. Während an der Bünz ad-hoc Erhebungen zur Makroinvertebratenkomposition durchgeführt wurden, konnte an der Venoge auf bestehende Datensätze zurückgegriffen werden. Makroinvertebraten repräsentieren diverse Lebensgemeinschaften, welche sensibel auf Habitatänderungen reagieren. Sie sind deshalb als Indikator für die ökologischen Lebensbedingungen an einem Fließgewässer geeignet.

An der Bünz wurden Proben von Makroinvertebraten durch Kick-Sampling für die benthischen Insekten und durch Hand-Sampling und Trichterfallen für die Uferarthropoden entnommen. Um saisonale Effekte minimieren zu können, erfolgte die Aufnahme an drei verschiedenen Perioden zwischen März und August 2008. Um die Lebensgemeinschaften der Bünz im Wasser und am Ufer zu charakterisieren, wurden die Abundanz, die Artenzahl und der Simpson's Diversitätsindex berechnet.

An der Venoge wurde der HMID dem RIVAUD-Index [14] gegenübergestellt. Dieser Index, für die Fließgewässer im Kanton Waadt entwickelt, stellt eine numerische Klassifikation eines Fließgewässerabschnittes aufgrund insgesamt und besonders sensibler vorhandener

Fließgewässertaxa dar. Dabei entspricht ein RIVAUD-Index von 15 bis 20 einer exzellenten Qualität, während ein Index von 11 einer mittleren Qualität gleichkommt.

Abbildung 6 zeigt, dass zwischen dem HMID und den biotischen Indikatoren weder an der Bünz noch an der Venoge ein korrelierter Zusammenhang besteht. Im Gegenteil, an der Venoge ist am natürlichen mäandrierenden Abschnitt im Unterlauf (S4) die Biodiversität viel niedriger als an den kanalisierten Abschnitten S2 und S3 im Mittellauf.

7 Diskussion

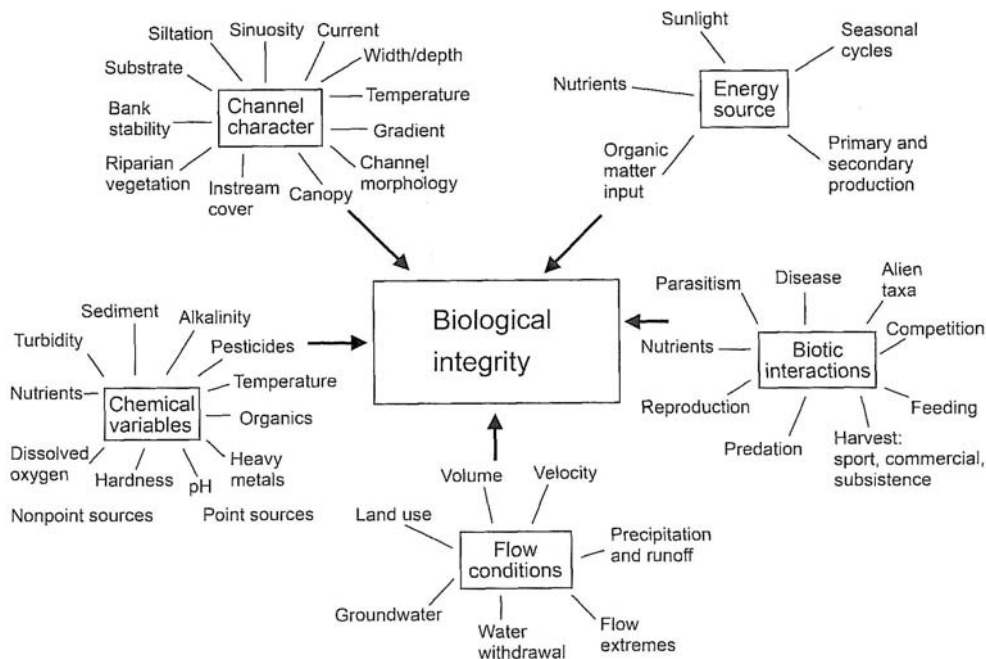


Abb. 7 Wichtige Faktoren für die ökologische Funktionsfähigkeit [15]

Eine hohe hydraulisch-morphologische Vielfalt wird in vielen Revitalisierungsprojekten in den Mittelpunkt aller Bemühungen gestellt. Es besteht kein Zweifel darüber, dass hydraulisch-morphologischer Strukturreichtum eine notwendige Bedingung für erfolgreiche Revitalisierungsprojekte darstellt. Dass die Erfüllung dieser Bedingung aber nicht immer hinreichend ist, bringen die Studien an Bünz und Venoge aber klar zum Ausdruck. Ein hoher Strukturreichtum alleine bedingt nicht automatisch eine hohe Biodiversität. Sehr oft sind es andere Faktoren, welche für die ökologische Funktionsfähigkeit eines Fließgewässers limitierend wirken (s. auch Abbildung 7).

An der Bünz zum Beispiel ist die Längskonnektivität teilweise unterbrochen. Auch befindet sich zwischen Abschnitt S3 und S4 ein Wehr zur Nutzung für Wasserkraft. In unregelmäßigen Abständen finden dort ungeregelte Stauraumpülungen statt, nach Durchführung derselben erfolgt der Aufstau ohne Abgabe von Restwasser. Eine weitere Ursache kann darin liegen, dass die Bünz bis zur Errichtung von Kläranlagen jahrzehntelang chemisch und biologisch belastet wurde, wodurch sensitive Arten möglicherweise aus dem Einzugsgebiet verschwunden sind. Eine Wiederbesiedlung mit einem reicheren Artenpool aus anderen Einzugsgebieten kann durch eine schwache Konnektivität erschwert sein. An der Venoge hingegen ist es eher die Belastung durch Pestizide, welche im Mittel- und Unterlauf stattfindet. Dadurch kann sich am naturnahen, mäandrierenden Abschnitt keine hohe Biodiversität ausbilden.

Der vorgeschlagene hydraulisch-morphologische Index der Diversität scheint ein vielversprechender Ansatz zu sein, um die physikalische Umgebung eines Fließgewässers mathematisch und somit interpretationsfrei erfassen zu können.

In weiteren Schritten ist es notwendig, Verbesserungen an der derzeit vorliegenden Formulierung anzubringen. Es muss unter anderem geprüft werden, ob auch andere abiotische Parameter wie zum Beispiel geometrische Größen (Uferneigung, Sohlvariabilität, Talform, usw.), die Substrateigenschaften, sohlnahe Strömungsverhältnisse, Totholzvorkommen o.ä. in den Diversitätsindex einfließen sollten. Weiters ist eine Zeitreihenanalyse der maßgebenden Parameter durchzuführen, da der vorliegende Vorschlag auf punktuellen Erhebungen im Feld beruht und Veränderungen des Abflusses im Jahresverlauf nicht berücksichtigt worden sind.

8 Zusammenfassung

In vorliegendem Artikel wird ein neuer Ansatz zur Bewertung der abiotischen Umgebung an Fließgewässern vorgestellt. In umfangreichen Feldkampagnen wurden hydraulische und morphologische Parameter an drei Fließgewässern in der Schweiz erhoben, wobei Gewässerabschnitte mit unterschiedlicher morphologischer Ausprägung untersucht wurden. Anhand von statistischen Auswertungen wurde eine mathematische Formulierung für einen hydraulisch-morphologischen Index der Diversität (HMID) vorgeschlagen.

Es konnte eine gute Korrelation zwischen der vorgeschlagenen Formulierung für den HMID und einer visuellen, multimetrischen Bewertungsmethode nachgewiesen werden. Es gab hingegen keine Korrelation zwischen dem HMID und biotischen, mithilfe der Makroinvertebratengemeinschaft ermittelten Indikatoren. Dieser Umstand ist auf andere in den untersuchten Fließgewässern vorhandene Stressoren zurückzuführen.

Der vielversprechende Ansatz einer mathematischen Beschreibung der abiotischen Parameter eines Fließgewässerabschnittes mit Zuweisung eines Indexes soll in weiterführenden Arbeiten verbessert und ausgebaut werden.

Literatur

- [01] Allan J D und Castillo M M: „Stream Ecology, Structure and Function of Running Waters“, Zweite Ausgabe, Springer, Dordrecht, Niederlande, 436 S., 2005
- [02] Jungwirth M, Haidvogel G, Moog O, Muhar S, Schmutz S: „Angewandte Fischökologie an Fließgewässern“, Facultas Universitätsverlag, Wien, 547 S., 2003
- [03] Bovee K D, Lamb B L, Bartholow J M, Stalnaker C B, Taylor J, Henriksen J: “Stream Habitat Analysis Using the Instream Flow Incremental Methodology“, U.S. Geological Survey, Biological Resources Division Information and technology Report USGS/BRD-(1998)-004, 130 S., 1998
- [04] Lamouroux N, Jowett I G: “Generalized instream habitat models“, Can. J. Fish. Aquat. Sci., 62, S. 7 – 14, 2005
- [05] Zappia H, Hayes D C: “A demonstration of the instream flow incremental methodology, Shenandoah River, Virginia“, U.S. Geological Survey, Water Resources Investigations Report 98-4157, 30 S., 1998
- [06] Jungwirth M und Winkler H: „Die Bedeutung der Flussbettstruktur für Fischgemeinschaften“, Österreichische Wasserwirtschaft 35: S. 229 – 234, 1983

- [07] Zauner G: „Fischökologische Studie an der Thaya“, Studie im Auftrag der Wasserstraßendirektion, Wien, 182 S., 1993
- [08] Tockner K: „Revitalisierungen mit ökologischen Indikatoren bewerten“, Eawag News 61/d: S. 15 – 17, 2006
- [09] BUWAL: „Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer: Modul-Stufen-Konzept“, Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr, 26, Bern, 41 S., 1998
- [10] AQEM consortium: “Manual for the application of the AQEM method, A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive”, Version 1.0, 2002
- [11] Lüderitz V, Dittrich A und Jüpner R: „Beiträge zum Institutskolloquium - Bewertung von Gewässern bei der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie“, Magdeburger Wissenschaftliche Hefte, Band 8, 221 S., 2007
- [12] Schleiss A J: „Flussbauliche Hochwasserschutzmaßnahmen und Verbesserung der Gewässerökologie – Vorschlag eines hydraulisch – morphologischen Vielfältigkeitsindex“, Wasser, Energie, Luft – Eau, énergie, air, 97, Jg, Heft 7/8, S. 195 - 199, 2005
- [13] Barbour M T, Gerritsen J, Snyder B D, Stribling J B: „Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish“, Second Edition, EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water, Washington, D.C., 337 S., 1999
- [14] Lang C und Reymond O: „An improved index of environmental quality for Swiss rivers based on benthic invertebrates“. Aquatic Sciences, 57 (2): S. 172-180, 1995
- [15] Karr J R und Chu E W: „Sustaining living rivers“. Hydrobiologia 422/423: S. 1 – 14, 2000

Anschrift der Verfasser

Dipl.-Ing. Walter Gostner und Prof. Dr. Anton Schleiss
 Laboratoire de constructions hydrauliques
 EPFL ENAC IIC LCH
 GC A3 514 (Bât. GC)
 Station 18
 CH-1015 Lausanne
 walter.gostner@epfl.ch anton.schleiss@epfl.ch